Пропонується новий алгоритм функціонування екстремального регулятора оптимізації дрейфуючої в часі екстремальної функції багатьох перемінних при управлінні складними технологічними процесами

УДК 621.311

В.Ф. Рой, д.ф.-м.н., проф.,
І.Г. Абраменко, к.т.н., доц.,
М.М. Штанько
Харківська національна академія міського господарства, м. Харків

СИНТЕЗ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ СКЛАДНИМИ СПОЖИВАЧАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Багато споживачів промислових мереж мають досить складні технологічні процеси, керування якими зводиться до оптимізації дрейфуючої в часі екстремальної функції багатьох перемінних. Синтезуємо алгоритм функціонування екстремального регулятора для таких задач.

Алгоритми визначення максимуму функції декількох керуючих перемінних можуть бути розділені на три групи в залежності від того, які характеристики критеріальної функції використовуються в них для вибору розміру і напрямку пошукового кроку. Першу групу складають алгоритми нульового порядку або прямі методи пошуку, що використовують тільки значення функції. Другу групу складають алгоритми першого порядку, що використовують, крім значень критеріальної функції ще і значення її перших похідних. Нарешті, до третьої групи відносяться алгоритми другого порядку, що ґрунтуються на обчисленні значень критеріальної функції, а також її перших і других похідних.

Виходячи з аналізу статичних і динамічних властивостей об'єктів керування в електроенергетиці, виду поверхні критеріальних функцій, а також виходячи з вимоги максимальної простоти технічної реалізації були обрані методи прямого багатомірного пошуку. Усі ці методи ґрунтуються на організації ітераційного процесу послідовного наближення до екстремуму унімодальної функції декількох перемінних усередині заданої області невизначеності. Огляд літературних джерел показав, що в даний час для визначення екстремуму нелінійних функцій декількох перемінних розроблено кілька різних алгоритмів нульового порядку. Проаналізуємо основні з них.

У методі прямого пошуку (Хука-Дживса) задаються деякою початковою точкою $[x_1,\dots x_n]$, після чого досліджують околиці цієї точки і знаходять напрямок, де спостерігається найбільший ріст критеріальної функції. В обраному напрямку здійснюється переміщення доти , поки спостерігається ріст значень функції, далі проводиться нове обстеження околиць і т.д.

У методі покоординатного спуску (Гаусса-Зейделя) за напрямки пошуку використовуються координатні вектори. У цьому випадку пошук ведеться у векторному полі напрямків $\overline{d}_j$ $(j = 1, \cdots, n)$, де n - кількість керувань.

Більш досконалим, але і більш складним є метод обертових координат (Розенброка), що полягає в організації обертання системи координат таким чином, щоб на кожній ітерації одна з координат відповідала напрямку найбільш швидкого зростання критеріальної функції.

Загальним недоліком перерахованих методів є те, що у випадку яружних, сильно вигнутих ліній рівного рівня функції вони можуть виявитися нездатними забезпечити просування до максимуму [1].

Тому для нашого випадку більш кращим є використання методу деформації багатогранника (Нелдера-Міда), що володіє властивістю адаптації до топографії ліній рівного рівня. Даний метод полягає в тому, що для критеріальної функції $f(x)$ в n - мірному просторі будується багатогранник, що містить $n+1$ вершину. У кожній з вершин обчислюються значення функції $f(x)$ і визначається мінімальне з цих значень, а також відповідна вершина. Далі будується новий багатогранник і процес повторюється.

На практиці добре себе зарекомендувала себе модифікація методу деформації багатогранника (Нелдера-Міда) - послідовний симплексний метод (ПСМ). Ідея цього методу для випадку функції двох незалежних перемінних полягає в наступному. У площині аргументів будується первісний симплекс, утворений трьома точками, що не лежать на однієї прямої (будь-який трикутник). Подальше переміщення симплекса в просторі відбувається шляхом дзеркального відображення вершин, що мають мінімальне значення критеріальної функції. В основі цього руху лежить твердження про те, що напрямок градієнта критеріальної функції в середньому близький до напрямку від найгіршої вершини через центр ваги протилежної грані. Досягши області экстремума, симплекс починає обертання навколо вершини з максимальним значенням критерію ефективності. Це явище зациклення для випадку двох перемінних зводиться до того, що знову отримана вершина останнього симплекса виключається й утвориться попередній симплекс, що може бути використане для визначення кінця процесу пошуку.

Досвід використання послідовного симплексного методу свідчить про наступні його позитивних сторонах:

- пошук із застосуванням ПСМ не вимагає складних обчислень, усі його етапи чітко формалізовані;
- алгоритм ПСМ об’єднує пробні і робочі кроки пошуку, що дозволяє з кожним виміром функції наближатися до її екстремуму;
- напрямок подальшого руху залежить від співвідношення значень цільової функції у вершинах симплекса, що вимагає тільки встановлення рангів цих значень;
- простота врахування обмежень - вершина симплекса, не задовольняюча обмеженням, просто відкидається;
- висока ефективність при пошуку в складних умовах.

Використання ПСМ для керування в конкретних системах привело до ряду уточнень [2]. Перші модифікації полягали у введенні різних способів зміни розміру і форми симплекса, що дозволило підвищити швидкість руху симплекса на початку пошуку а також точність локалізації екстремуму на заключному етапі. Результатом подальших досліджень стали алгоритми, у яких швидкість руху симплекса змінювалася в залежності від успіху на попередньому кроці пошуку. Перераховані модифікації ПСМ, завдяки їх розвитим адаптивним властивостям добре зарекомендували себе для оптимізації складних функцій, однак застосування нерегулярного симплекса, а також залежність кроку від помилок виміру показника знижують ефективність цих методів в обстановці дрейфу функції мети через вплив дії перешкод.

Таким чином, з огляду на умови функціонування об'єктів даного класу - дрейф екстремуму критеріальної функції в залежності від характеристик і наявність високого рівня перешкод, для їх оптимізації доцільно застосовувати ПСМ у його модифікації, що використовує тільки регулярний (рівносторонній) симплекс або регулярний симплекс, розміри якого в процесі пошуку змінюються по заздалегідь відомому законі. Однак, при застосуванні строго постійного симплекса можна чекати або збільшення часу на пошук (вихід системи в зону екстремуму) при виборі малого розміру симплекса, або невиправдано великі втрати на нишпорення (при випадковому блуканні в околицях екстремума функції мети) при великому розмірі симплекса. Відомі алгоритми ПСМ із закономірною зміною розміру симплекса при збереженні його регулярності припускають попереднє задання правила його зміни і загальної кількості кроків, що є нездійсненним в умовах апріорної невизначеності.

На основі викладеного був розроблений алгоритм зміни розміру симплекса зі збереженням його регулярності, що враховує знак критеріальної функції на етапі пошуку і число кроків на етапі спостереження, при якому залишається невідкинутою хоча б одна з попередніх вершин. Особливостями цього алгоритму є:

- після вирахування значень критеріальної функції у вершинах вихідного симплекса проводиться аналіз їхніх знаків і, якщо всі значення позитивні (тобто система знаходиться в області припустимих режимів), подальший рух відбувається зі зменшеним розміром симплекса;

- при влученні в область екстремуму, що визначається по досягненню визначеної кількості кроків n, при який зберігається невідкинутою хоча б одна попередня вершина симплекса, розмір симплекса ще раз зменшується до значення, при якому і здійснюється відстеження дрейфу екстремума;

- при будь-якому зменшенні розміру сисмлекса нові пробні вершини, що лежать на ребрі, протилежному вершині, що залишилася, з максимальним значенням критеріальної функції, визначаються шляхом лінійної апроксимації значень функції у відповідній вершині основи до зменшення.

Приведемо приклад практичного використання пропонованого алгоритму для критеріальної функції двох параметрів $\Phi = f(X_1, X_2)$. В цьому випадку треба визначити параметри: координати початкового симплекса $X_{0,i}$, $i = 1,2$; розміри ребер на різних етапах пошуку L_0, L_1, L_2.

Область можливих значень керуючих перемінних можна визначити на основі припустимих режимів роботи об'єкта.

Координати центра початкового симплекса в натуральних одиницях визначаються формулою

$$\tilde{X}_{0,i} = \frac{X_{i,\max} + X_{i,\min}}{2} . \tag{1}$$

де $X_{i,\max}$, $X_{i,\min}$ - граничні значення i - ї керуючої перемінної, $i = 1,2$; $\tilde{X}_{0,i}$ - координата центра по цій же перемінній.

Введемо нормування перемінних

$$x_i = \frac{2X_i - X_{i,\max} - X_{i,\min}}{X_{i,\max} - X_{i,\min}} . \tag{2}$$

де X_i - поточне значення i - ї керуючої перемінної в натуральних одиницях виміру.

Тоді координати центра вихідного симплекса у відносних одиницях згідно (2) дорівнюють нулю.

Довжину ребер початкового симплекса можна знайти з виразу для L_0:

$$L_0 \le L = \frac{\vec{d}}{2+k}\sqrt{\frac{k(k+1)}{2}} , \tag{3}$$

де $\vec{d}$ - діапазон зміни керуючих перемінних, рівний різниці граничних значень, виражених у відносних одиницях; k - розмірність симплеса.

Скориставшись властивостями рівностороннього трикутника, координати вершин вихідного симплекса з центром у точці з координатами можна знайти зі співвідношень, приведених у таблиці 1.

Величину ребра симплекса L_1 знайдемо на основі статичних характеристик $\Phi = f(X_1)$ и $\Phi = f(X_2)$, виходячи з діапазону зміни керуючих впливів, при якому $\Phi > 1$.

Таблиця 1.

Вихідна матриця керуючих впливів ПСМ

N вершин	Керуюче вплив	
	X_1	X_2
1	$X_{1,1} = 0$	$X_{2,1} = \frac{L_0}{2\sqrt{3}}$
2	$X_{1,2} = -\frac{L_0}{2}$	$X_{2,2} = -\frac{L_0}{\sqrt{3}}$
3	$X_{1,2} = \frac{L_0}{2}$	$X_{2,3} = -\frac{L_0}{\sqrt{3}}$

Необхідна точність відстеження екстремума забезпечується відповідним розміром ребра L_2, обумовленим співвідношенням :

$$L_2 = \delta \sqrt{\frac{2k}{k+1}}, \tag{4}$$

де δ - припустима помилка при визначенні точки екстремуму критеріальної функції.

У ході моделювання координати вихідного симплекса були прийняті рівними:

$$L_0 = 0,4\,;\ L_1 = 0,2\,;\ L_2 = 0,06\,;\ X_{0,1} = [0;0,128]\,;$$

$$X_{0,2} = [-0,105;-0,06]\,;\ X_{0,3} = [-0,105;-0,06].$$

Зміна управлінь в процесі пошуку наведена на рисунку.

З аналізу рис. випливає, що відповідно до виду поверхні критеріальної функції в області можливих значень керуючих перемінних виконання умов влучення в зону припустимих режимів настає вже на першому кроці. Тому після визначення значень функції в трьох вершинах початкового симплекса відбувається зменшення ребра симплекса до величини $L_1 = 0,2$. Подальший процес пошуку з ребром L_1 відбувається шляхом відображення гіршої вершини симплекса щодо протилежної грані і продовжується 8 кроків.

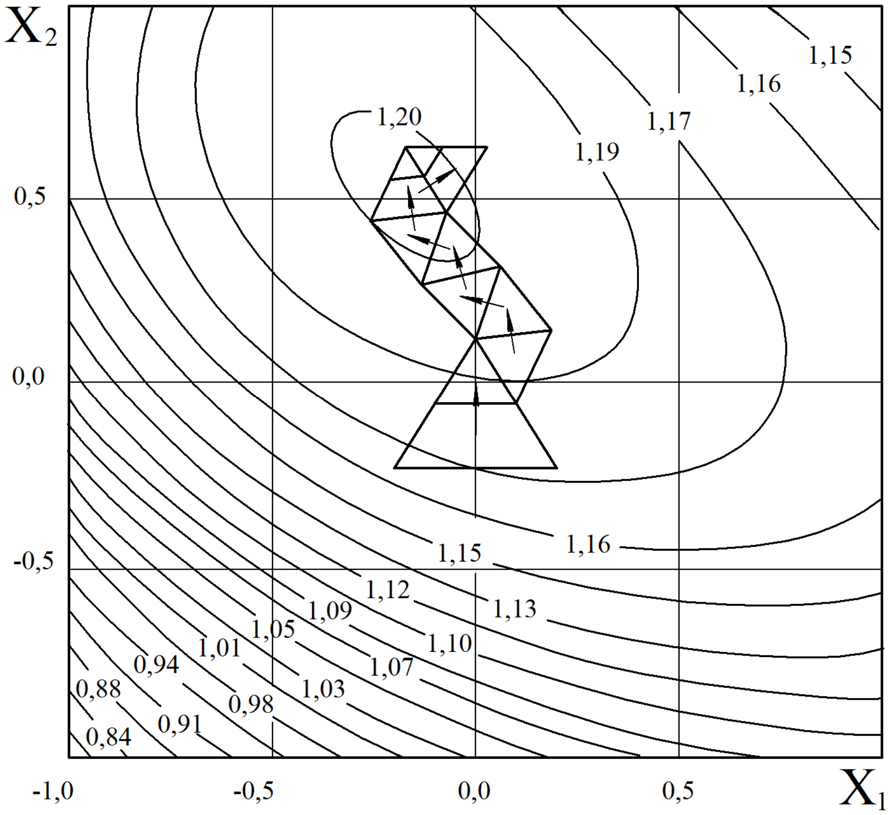

Рис. – Процесс пошуку екстремуму

Наступне зменшення розміру ребра симплекса до величини $L_2 = 0{,}06$, з яким і відбувається відстеження критеріальної функції, настає за $n = 2$ кроки в області екстремуму

Розрахунки показали, що застосування двохканальної системи автоматичної оптимізації з використанням модифікованого симмплекс-методу дозволяє збільшити ефективність керування в середньому на 7 %. Конкретні числові співвідношення характеристик процесу залежать від характеру і величини внесених збурювань.

Література

1. Фрадков А.Л. Адаптивное управление в сложных системах. М.: Наука, 1990. 292с.
2. Власов К.П. Теория автоматического управления / К.П. Власов, А.С. Анашкин. С.- Пб.: Санкт-Петербургский горный институт, 2003. 103с.

СИНТЕЗ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ.

В.Ф. Рой, И.Г. Абраменко, Н.Н. Штанько

Предлагается новый алгоритм функционирования экстремального регулятора оптимизации дрейфующей во времени экстремальной функции многих переменных при управлении сложными технологическими процессами.

CONTROL ALGORYTHM OF COMPLICATED POWER USERS

V.F. Roy, I.G. Abramenko, M.M. Shtanyko

New algorithm is offered operating the extreme regulator to optimization sliding at time of the extreme function many variable when governing complex technological process